# Dynamika I

Kinematika se zabývala popisem pohybu, ale ne jeho příčinou. Například o vrzích jsme řekli, že zrychlení je konstantní a směřuje svisle dolů, ale neřekli jsme proč.

| |
|---|
| Dynamika se zabývá příčinami pohybů. |

Abychom nějaké těleso rozpohybovali, musíme na něho působit silou. Aristoteles (384-322 př.n.l.) dokázal, že přirozeným stavem tělesa je klid, působí-li na těleso konstantní síla, pohybuje se nějakou rychlostí. Isaac Newton (1642-1727) si uvědomil, že síla uděluje tělesu zrychlení. Neexistuje-li tření (což je taky síla), je přirozeným stavem tělesa klid nebo rovnoměrný přímočarý pohyb.

## Newtonovy pohybové zákony

V roce 1687 vydal Newton knihu „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“, ve které zformuloval tři Newtonovy pohybové zákony.

### Zákon setrvačnosti (1. NZ)

| |
|---|
| Těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrně přímočarém pohybu, pokud není nuceno vnějšími silami tento stav změnit. |

V originále: „Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.“

### Zákon síly (2. NZ)

| |
|---|
| Zrychlení tělesa je přímo úměrné výslednici sil působících na těleso a nepřímo úměrné jeho hmotnosti. |

V originále: „Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae et fieri secundam lineam rectam qua vis illa imprimitur.“
Druhý Newtonův zákon popisuje slovy, co se zpravidla vyjadřuje rovnicí

$$\boldsymbol{F} = m.\boldsymbol{a}, \tag{3.1}$$

kde $\boldsymbol{F}$ je síla působící na těleso, $m$ je jeho hmotnost a $\boldsymbol{a}$ je zrychlení tělesa.
Všimněme si, že 1. Newtonův zákon (setrvačnosti) je důsledkem 2. Newtonova zákona (síly). Je-li výslednice sil nulová, podle (3.1) je nulové zrychlení a podle (1.5) musí být rychlost konstantní.
Jednotkou síly je newton – značí se N. 1 N = 1 kg.m.s$^{-2}$.

### Zákon akce a reakce (3. NZ)

| |
|---|
| Působí-li jedno těleso na druhé nějakou silou (akcí), působí druhé na první silou stejně velkou a opačně orientovanou (reakcí). Tyto síly vznikají a zanikají současně. |

V originále: Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem; sive: corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.

### Pohybová rovnice pro postupný pohyb

Když si uvědomíme, že zrychlení je druhá derivace polohového vektoru podle času (1.3), můžeme rovnici (3.1) přepsat ve formě diferenciální rovnice

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

EVROPSKÁ UNIE · MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY · OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$m\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2} = \boldsymbol{F}\,. \qquad (3.2)$$

Řešením této diferenciální rovnice je závislost polohy tělesa na čase. Pohybová rovnice pro postupný pohyb je jen jinak zapsaný 2. Newtonův zákon.

## Inerciální a neinerciální soustavy

Cestující jedoucí v autobuse, který prudce brzdí, něco vyhodí ze sedadel a pošle to na přední sklo, i když by na to neměla působit žádná síla. Naopak cestující jedoucí rovnoměrně přímočaře ve vlaku v uzavřeném vagonu nemají možnost zjistit, jestli se vlak pohybuje.
Popisujeme-li pohyb v soustavě, která se pohybuje se zrychlením, neplatí v ní 1. ani 2. Newtonův zákon.

| **Inerciální** je **soustava**, která se nepohybuje se zrychlením. |
|---|

Už ale víme, že mluvíme-li o pohybu, musíme říct vzhledem k čemu se tento pohyb děje. Newton vztahoval pohyb k absolutnímu prostoru (vlastně k Vesmíru). Albert Einstein mu to v roce 1905 pokazil, když ukázal, že absolutní prostor neexistuje a všechny inerciální soustavy jsou navzájem ekvivalentní (žádná není lepší než jiná). Můžeme napsat několik jiných (ne už tak dobrých) definicí:
Inerciální je soustava, která se nepohybuje se zrychlením vzhledem k jiným inerciálním soustavám.
Inerciální je soustava, ve které platí Newtonovy pohybové zákony.
Není-li soustava inerciální, je neinerciální. Podle Newtona můžeme definovat:

| **Neinerciální** je **soustava**, která se pohybuje se zrychlením. |
|---|

A další definice:
Neinerciální je soustava, která se pohybuje se zrychlením vzhledem k nějaké inerciální soustavě.
Neinerciální je soustava, ve které neplatí Newtonovy pohybové zákony.
Neinerciální je soustava, ve které působí setrvačné síly.

## Hybnost

Jak moc se těleso pohybuje říká jeho rychlost. Na druhé straně, narazí-li do vás moucha rychlostí 90 km/h, je zážitek neporovnatelný s tím, když do vás stejnou rychlostí narazí naložený kamion. Záleží tedy nejen na rychlosti, ale i na hmotnosti. Hledáme veličinu, která by mohla být mírou pohybu.

| **Hybnost** je fyzikální veličina, která vyjadřuje míru setrvačnosti tělesa. |
|---|

| **Hybnost** $\boldsymbol{p}$ definujeme | $\boldsymbol{p} = m.\boldsymbol{v}.$ | (3.3) |
|---|---|---|

Hybnost je vektorová veličina. Směr hybnosti je stejný jako směr rychlosti.
2. Newtonův zákon (3.1) můžeme upravit

$$\boldsymbol{F} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{p}}{\mathrm{d}t}\,, \qquad (3.4)$$

$$\boldsymbol{F}\mathrm{d}t = \mathrm{d}\boldsymbol{p}\,. \qquad (3.5)$$

Tento zápis 2. Newtonova zákona se nazývá **1. impulsová věta** a veličinu

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$\boldsymbol{I} = \int \boldsymbol{F}\mathrm{d}t \qquad (3.6)$$

nazýváme **impuls síly**.

## Smykové tření

**Smykové tření** (vlečné tření, kinematické tření) je tření, které vzniká mezi tělesy při jejich posuvném pohybu.

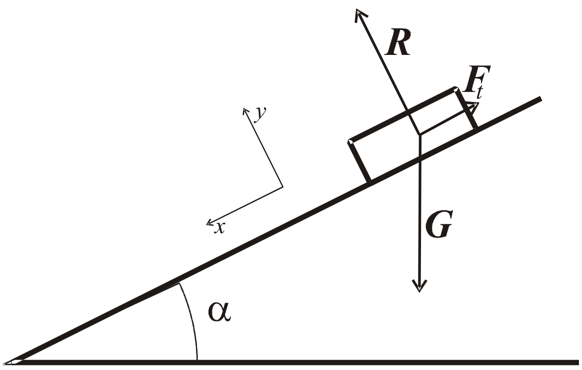
Třecí síla $\boldsymbol{F}_t$ při smykovém tření má velikost

$$F_t = f.\, F_n, \qquad (3.7)$$

kde $f$ je **součinitel smykového tření**, $\boldsymbol{F}_n$ je kolmá tlaková síla mezi tělesy. Pozor, $\boldsymbol{F}_n$ je tíha tělesa pouze pokud těleso leží na vodorovné rovině!

Koeficient (součinitel) smykového tření $f$ závisí na materiálu a kvalitě obou povrchů. Koeficient smykového tření je zpravidla větší, pokud jsou tělesa v klidu. Proto rozlišujeme koeficient smykového tření statický $f_{0,}$ když jsou tělesa proti sobě v klidu, a kinematický (dynamický) $f$ ,když se pohybují.

## Těleso na nakloněné rovině




*Obr. 3.1: Těleso na nakloněné rovině*

Na nakloněné rovině se sklonem α leží těleso o hmotnosti $m$. Koeficient smykového tření mezi tělesem a nakloněnou rovinou je $f$ (obr. 3.1). Soustavu souřadnic si zvolíme tak, že osa $x$ je rovnoběžná s nakloněnou rovinou a směřuje šikmo dolů; osa $y$ je kolmá k nakloněné rovině a směřuje šikmo vzhůru. Abychom dokázali popsat pohyb tělesa po nakloněné rovině, musíme znát jeho zrychlení a podle 2. NZ výslednici všech sil, které na něho působí.

Najděme všechny síly působící na těleso:

1. Gravitační síla $\boldsymbol{G}$ , směřující svisle dolů.
2. Síla $\boldsymbol{R}$, kterou působí nakloněná rovina na těleso a brání mu v zaboření se do roviny. Síla je kolmá na nakloněnou rovinu.
3. Třecí síla $\boldsymbol{F}_t$. Síla směřuje proti pohybu a těleso klouže po nakloněné rovině; síla tedy musí být rovnoběžná s nakloněnou rovinou. Pokud těleso sjíždí ve směru osy $x$, směřuje třecí síla proti směru $x$. Pokud těleso stojí, působí třecí síla proti složce $G_x$. Pokud těleso má rychlost proti směru osy $x$, směřuje třecí síla ve směru $x$.

Určeme velikosti těchto sil (síly jsou rozkreslené na obr. 3.2):

1. Gravitační síla u povrchu Země má vždy velikost $G = m.g$. Rozepišme si gravitační sílu do složky rovnoběžné s nakloněnou rovinou $G_x$ (která pohybuje tělesem) a kolmou k nakloněné rovině $G_y$ (kterou těleso tlačí na nakloněnou rovinu).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

EVROPSKÁ UNIE
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY
OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$G_x = G.\sin\alpha. \quad (3.8)$$

$$G_y = G.\cos\alpha. \quad (3.9)$$

2. Síla $\boldsymbol{G}_y$ je síla, kterou tlačí těleso na nakloněnou rovinu (akce) a proto musí podle 3. NZ existovat síla $\boldsymbol{R}$ stejně velká a opačně orientovaná, kterou nakloněná rovina působí na těleso (reakce).

$$R = G_y. \quad (3.10)$$

Všimněme si, že musíme psát $R = G_y$ (velikost obou vektorů je stejná), ale $\boldsymbol{R} = -\boldsymbol{G}_y$.(vektory mají opačný směr).

3. Třecí sílu $\boldsymbol{F}_t$, lze podle (3.7) vypočítat jako

$$F_t = f.\, F_n = f.G_y = f.\, G.\cos\alpha. \quad (3.11)$$

Nyní už máme připraveno vše pro výpočet výslednice všech sil, které působí na těleso $\boldsymbol{F}_v$. Výslednici budeme opět počítat po složkách. Síly rovnoběžné s osou $x$ jsou $\boldsymbol{G}_x$ a $\boldsymbol{F}_t$. $\boldsymbol{G}_x$ je ve směru osy $x$, $\boldsymbol{F}_t$ proti směru. Proto

$$F_{vx} = G_x - F_t. \quad (3.12)$$

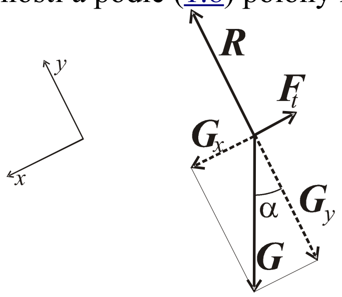
Může se stát, že rozdíl bude záporný. To by znamenalo, že třecí síla je větší než $G_x$ a v případě, že má rychlost směřující ve směru osy $x$, je třecí silou bržděno. Pokud je rychlost nulová, těleso nemůže být taženo třecí silou vzhůru. V tomto případě by třecí síla byla dostatečně velká, aby dokázala vyrušit $\boldsymbol{G}_x$ a těleso by zůstalo v klidu.

Výpočet složky $F_{vy}$ je jednodušší

$$F_{vy} = G_y - R = 0. \quad (3.13)$$

Těleso nemůže mít zrychlení ve směru osy $y$.

Známe-li výslednici všech sil působících na těleso, můžeme podle 2. NZ (3.1) vypočítat $\boldsymbol{a}_x$ a pak s použitím (1.7) závislost rychlosti a podle (1.8) polohy na čase.




*Obr. 3.2: Síly působící na těleso na nakloněné rovině*

## Dynamika pohybu po kružnici

Pohybuje-li se těleso rovnoměrně po kružnici, je tečná složka jeho zrychlení nulová (2.16) a normálové (dostředivé) zrychlení je nenulové (2.20). Protože má hmotný bod pohybující se po kružnici dostředivé zrychlení, musí na něj podle (3.1) působit i **dostředivá síla**.

> Síla působící na hmotný bod pohybující se rovnoměrně po kružnici je **dostředivá** (směřuje do středu kružnice).
>
> $$F_d = m\frac{v^2}{r} \quad (3.14)$$

Jak je potom možné, že cestující na kolotoči mluví o odstředivé síle? Soustava spojená se sedačkou kolotoče se pohybuje se zrychlením, je tedy neinerciální a působí v ní setrvačné síly. Takovou setrvačnou silou je i odstředivá síla, kterou cítí cestující. Ale v inerciální soustavě jde o sílu dostředivou. Je to podobný problém jako z prudce se rozjíždějícím autě. Auto se rozjíždí, má tedy i s cestujícími zrychlení směřující vpřed, to znamená, že síla urychlující auto také míří vpřed. Ale z pohledu cestujícího, jehož (neinerciální) souřadná soustava je spojena s autem, existuje síla, která ho tiskne do sedadla a má opačný směr než skutečná síla.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

EVROPSKÁ UNIE

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ